

Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients Normes en ligne.
Toute mise en réseau, reproduction et rediffusion, sous quelque forme que ce soit,
même partielle, sont strictement interdites.

This document is intended for the exclusive and non collective use of AFNOR Webshop
(Standards on line) customers. All network exploitation, reproduction and re-dissemination,
even partial, whatever the form (hardcopy or other media), is strictly prohibited.

Boutique AFNOR

Pour : CNAM

Code client : 4476700

Commande : N-20060628-167002-TA

le 28/6/2006 - 16:31

Toute reproduction ou représentation
intégrale ou partielle, par quelque
procédé que ce soit, des pages publiées
dans le présent document, faite sans
l'autorisation de l'éditeur est illicite et
constitue une contrefaçon. Seules sont
autorisées, d'une part, les reproductions
strictement réservées à l'usage privé
du copiste et non destinées à une
utilisation collective et, d'autre part,
les analyses et courtes citations
justifiées par le caractère scientifique
ou d'information de l'œuvre dans
laquelle elles sont incorporées (Loi du
1^{er} juillet 1992 – art. L 122-4 et L 122-5,
et Code Pénal art. 425).

Diffusé par



norme européenne

norme française

NF EN 1990/A1
Juillet 2006

Indice de classement : **P 06-100-1/A1**

ICS : 91.010.30 ; 91.080.01

Eurocode

Bases de calcul des structures

E : Eurocode — Basis for Design

D : Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung

Amendement A1

à la norme homologuée **NF EN 1990 de mars 2003**, homologué par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 juin 2006 pour prendre effet le 5 juillet 2006.

Correspondance

L'amendement A1:2005, à la Norme européenne EN 1990:2002 a le statut d'une norme française.

Analyse

Le présent amendement n° 1 regroupe des spécifications particulières aux ponts routiers, passerelles et ponts ferroviaires constituant l'annexe A2 non reprise dans l'actuelle NF EN 1990, à la suite de la conversion des ENV 1991-1-1 et 1991-3 ; elles proviennent pour une grande part — après refonte — des indications qui étaient fournies dans les annexes C, D, et G de l'ENV 1991-3.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : bâtiment, génie civil, structure, règle de construction, conception, définition, exigence, sécurité, durée de vie, fiabilité, durabilité, calcul, résistance des matériaux, déformation, limite, dimension, vérification, pont.

Modifications

Corrections



Coordination Eurocodes structuraux

AFNOR P06E

Membres de la commission de normalisation

Président : M CALGARO

Secrétariat : MME PATROUILLEAU — AFNOR

MME	ABEL	SETRA
M	BALOCHE	CSTB
M	BISCH	SECHAUD ET METZ SA
MME	BOUET GRIFFON	ALCAN CRV
M	BUI	SETRA
M	CALGARO	CGPC — CONSEIL GENERAL PONTS ET CHAUSSEES
M	CANEPÀ	LAB REGIONAL DE L EST PARISIEN
M	CHABROLIN	CTICM
MME	CHAUVEL	EDF POLE INDUSTRIE — SEPTEN
M	CHENAF	CSTB
M	COLSON	FNTP
M	CORTADE	JACQUES CORTADE
M	DE CHEFDEBIEN	CERIB
M	DEVILLEBICHOT	EGF.BTP
MR	DUPONT	CTTB
M	DURAND	UMGO-UNION MACONNERIE GROS OEUVRE
M	FONTAINE	CGPC — CONSEIL GENERAL PONTS ET CHAUSSEES
M	FRANK	ENPC-ECOLE NAT PONTS & CHAUSSEES
MME	GAUTHIER	BNSR
M	GOURMELON	LCPC — LABO CENTRAL PONTS CHAUSSEES
M	GOUVENOT	SOLETANCHE SA
M	HENRY	BNIB
M	IZABEL	SNPPA
M	KRUPPA	CTICM
M	LAMADON	BUREAU VERITAS
M	LARAVOIRE	JACQUES LARAVOIRE
M	LERAY	JEAN CLAUDE LERAY
M	LIGOT	FFB CMP
M	MAGNAN	LCPC — LABO CENTRAL PONTS CHAUSSEES
M	MAITRE	SOCOTEC
M	MAURY	INGEROP
M	MERLET	CSTB
M	MOINEAU	INRS
M	NGUYEN	DGAC — STAC — SCE TECH AVIATION CIVILE
M	PECKER	GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE SARL
M	PERNIER	DAEI — DION AFF ECO & INTERNAT
MME	PERO	BNSR
M	PESCATORE	BNCM
M	PINÇON	BNTEC
M	RAMONDENC	SNCF
M	RAOUL	SNCF
M	RUTMAN	BNTB
M	SOULAT	CETMEF
M	TISSIER	UNM
M	WIELEZYNSKI	BNBA

Avant-propos national à la norme NF EN 1990/A1

A.P. 1 : Introduction

(0) Le règlement du Comité européen de Normalisation (CEN) impose que les normes européennes adoptées par ses membres soient transformées en normes nationales au plus tard dans les 6 mois après leur ratification et que les normes nationales en contradiction soient annulées.

(1) La présente publication reproduit la norme européenne EN 1990:2002/A1:2005 — Eurocodes structuraux — Eurocodes : bases de calcul des structures, ratifiée par le Comité européen de normalisation le 14 octobre 2004 et mise à disposition le 14 décembre 2005. Elle fait partie d'un ensemble de normes constituant la collection des Eurocodes, qui dépendent dans une certaine mesure les uns des autres pour leur application. Certaines d'entre elles sont encore en cours d'élaboration. C'est pourquoi le CEN a fixé une période de transition nécessaire à l'achèvement de cet ensemble de normes européennes, période durant laquelle les membres du CEN ont l'autorisation de maintenir leurs propres normes nationales adoptées antérieurement.

(2) Cette publication, faite en application des règles du Comité européen de normalisation, peut permettre aux différents utilisateurs de se familiariser avec le contenu (concepts et méthodes) de l'Eurocode.

(3) L'application en France de cette norme appelle un ensemble de précisions et de compléments pour lesquels une Annexe nationale est en préparation dans le cadre de la Commission de normalisation AFNOR P06E. En attendant la publication de cette Annexe nationale, si la norme européenne est employée, c'est avec les compléments précisés par l'utilisateur et sous sa responsabilité.

A.P. 2 : Domaine d'application

Le présent amendement n° 1 constitue l'annexe A2 de la norme NF EN 1990:2003.

**NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD**

EN 1990:2002/A1

Décembre 2005

ICS : 91.010.30

Version française

Eurocode : Bases de calcul des structures

Eurocode : Grundlagen der Tragwerksplanung

Eurocode : Basis for design

Le présent amendement A1 modifie la Norme européenne EN 1990:2002.

Il a été adopté par le CEN le 14 octobre 2004.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la norme européenne.

Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Secrétariat Central ou auprès des membres du CEN.

Le présent amendement existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version faite dans une autre langue par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale, et notifiée au Secrétariat Central, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

CEN

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization

Secrétariat Central : rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles

Sommaire

	Page
Avant-propos	3
Annexe A2 (normative) Application aux ponts	4
A2.1 Domaine d'application	6
A2.1.1 Généralités	6
A2.1.2 Symboles	6
A2.2 Combinaisons d'actions	7
A2.2.1 Généralités	7
A2.2.2 Règles de combinaison pour les ponts routiers	8
A2.2.3 Règles de combinaison pour les passerelles	9
A2.2.4 Règles de combinaison pour les ponts ferroviaires	10
A2.2.5 Combinaisons d'actions pour des situations de projet accidentelles (non sismiques)	10
A2.2.6 Valeurs des coefficients ψ	11
A2.3 États-limites ultimes	14
A2.3.1 Valeurs de calcul des actions dans les situations de projet durables et transitoires	15
A2.3.2 Valeurs de calcul des actions dans les situations de projet accidentelles et sismiques	18
A2.4 États-limites de service et autres états-limites particuliers	19
A2.4.1 Généralités	19
A2.4.2 Critères d'aptitude au service en matière de déformation et de vibration pour les ponts routiers	20
A2.4.3 Vérifications de la vibration des passerelles sous l'action du trafic des piétons	20
A2.4.4 Vérifications relatives aux déformations et aux vibrations pour les ponts ferroviaires	21

Avant-propos

La présente Norme européenne (EN 1990:2002/A1:2005) a été élaborée par le Comité Technique CEN/TC 250 «Eurocodes structuraux», dont le secrétariat est tenu par BSI.

Cet amendement à la Norme européenne EN 1990:2000 devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en juin 2006, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en juin 2006.

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application : Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

Annexe A2

(normative)

Application aux ponts

Annexe Nationale pour l'Annexe A2 de l'EN 1990

Un choix national est autorisé dans l'annexe A2 de l'EN 1990 par les clauses suivantes :

Clauses générales

Clause	Item
A2.1 (1) NOTE 3	Utilisation du tableau 2.1 : durée d'utilisation de projet
A2.2.1(2) NOTE 1	Combinaisons avec des actions non couvertes par l'EN 1991
A2.2.6(1) NOTE 1	Valeurs des coefficients ψ
A2.3.1(1)	Modification des valeurs de calcul des actions pour les états limites ultimes
A2.3.1(5)	Choix de l'approche 1, 2 ou 3
A2.3.1(7)	Définition des forces dues à la pression de la glace
A2.3.1(8)	Valeurs des coefficients γ_p pour les actions dues à la précontrainte lorsqu'ils ne sont pas spécifiés dans les Eurocodes de projet appropriés
A2.3.1 tableau A2.4(A) NOTES 1 et 2	Valeurs des coefficients γ
A2.3.1 tableau A2.4(B)	NOTE 1 : choix de 6.10 ou de 6.10a/b NOTE 2 : valeurs des coefficients γ et ξ NOTE 4 : valeurs de γ_{sd}
A2.3.1 tableau A2.4(C)	Valeurs des coefficients γ
A2.3.2(1)	Valeurs de calcul, dans le tableau A2.5, pour les situations de projet accidentelles, valeurs de calcul des actions variables d'accompagnement et pour les situations de projet sismiques
A2.3.2 tableau A2.5 NOTE	Valeurs de calcul d'actions
A2.4.1(1) NOTE 1 (tableau A2.6)	Autres valeurs de γ relatives aux actions dues au trafic pour les états limites de service
NOTE 2	Combinaison d'actions non fréquente
A2.4.1(2)	Exigences et critères d'aptitude au service pour le calcul des déformations

Clauses particulières aux ponts routiers

Clause	Item
A2.2.2(1)	Référence à la combinaison d'actions non fréquente
A2.2.2(3)	Règles de combinaison pour véhicules spéciaux
A2.2.2(4)	Règles de combinaison pour les charges de neige et les charges de trafic
A2.2.6(1) NOTE 2	Valeurs des coefficients $\psi_{1,infq}$
A2.2.6(1) NOTE 3	Valeurs des forces dues à l'eau

Clauses particulières aux passerelles

Clause	Item
A2.2.3(2)	Règles de combinaison pour les charges de vent et les charges thermiques
A2.2.3(3)	Règles de combinaison pour les charges de neige et les charges de trafic
A2.2.3(4)	Règles de combinaison pour les passerelles protégées du mauvais temps
A2.4.3.2(1)	Critères de confort pour les passerelles

Clauses particulières pour les ponts ferroviaires

Clause	Item
A2.2.4(1)	Règles de combinaison pour les charges de neige sur les ponts ferroviaires
A2.2.4(4)	Vitesse maximale du vent compatible avec le trafic ferroviaire
A2.4.4.1(1) NOTE 3	Exigences relatives à la déformation et à la vibration pour les tabliers auxiliaires
A2.4.4.2.1(4)P	Valeurs de pointe de l'accélération du tablier des ponts ferroviaires, et domaine des fréquences associées
A2.4.4.2.2 — tableau A2.7 NOTE	Valeurs limites du gauche du tablier pour les ponts ferroviaires
A2.4.4.2.2(3)P	Valeurs limites du gauche total du tablier pour les ponts ferroviaires
A2.4.4.2.3(1)	Déformation verticale des ponts ferroviaires ballastés et non ballastés
A2.4.4.2.3(2)	Limitations des rotations des extrémités du tablier non ballasté pour les ponts ferroviaires
A2.4.4.2.3(3)	Limites additionnelles des rotations angulaires aux extrémités des tabliers
A2.4.4.2.4(2) — tableau A2.8 NOTE 3	Valeurs des coefficients α_i et r_i
A2.4.4.2.4(3)	Minimum de la fréquence latérale des ponts ferroviaires
A2.4.4.3.2(6)	Exigences de confort des passagers pour les tabliers auxiliaires

A2.1 Domaine d'application

A2.1.1 Généralités

(1) Cette Annexe A2 de l'EN 1990 donne des règles et des méthodes pour l'établissement des combinaisons d'actions pour les vérifications des états-limites de service et ultimes (sauf vérifications de fatigue) avec les valeurs de calcul recommandées des actions permanentes, variables et accidentelles, et les coefficients ψ à utiliser dans le calcul des ponts routiers, des passerelles et des ponts ferroviaires. Elle s'applique aussi aux actions pendant l'exécution. Des méthodes et des règles de vérification relatives à certains états-limites de service indépendants des matériaux sont aussi données.

NOTE 1 Les symboles, notations, modèles de charge et groupes de charges sont ceux utilisés ou définis dans la section correspondante de l'EN 1991-2.

NOTE 2 Les symboles, notations et modèles de charges de construction sont ceux définis dans l'EN 1991-1-6.

NOTE 3 Des conseils peuvent être donnés dans l'Annexe nationale quant à l'utilisation du tableau 2.1 (durée d'utilisation de projet).

NOTE 4 La plupart des règles de combinaison définies dans les clauses A2.2.2 à A2.2.5 sont des simplifications destinées à éviter des calculs inutilement compliqués. Elles peuvent être changées dans l'Annexe nationale ou pour le projet individuel, comme indiqué de A2.2.1 à A2.2.5.

NOTE 5 Cette Annexe A2 à l'EN 1990 ne comprend pas de règles pour la détermination des actions (forces et couples) sur les appareils d'appui structuraux et des mouvements d'appuis associés, et ne donne pas de règles pour l'analyse des ponts avec interaction sol-structure pouvant dépendre de mouvements ou de déformations d'appareils d'appuis structuraux.

(2) Les règles données dans cette Annexe A2 de l'EN 1990 peuvent ne pas être suffisantes pour :

- les ponts qui ne sont pas couverts par l'EN 1991-2 (par exemple les ponts situés sous des pistes d'aéroport, les ponts mécaniquement mobiles, les ponts dotés d'une toiture, les aqueducs, etc.),
- les ponts qui portent à la fois des trafics routier et ferroviaire,
- les autres structures de génie civil portant des charges de trafic (par exemple le remblai derrière un mur de soutènement).

A2.1.2 Symboles

Pour les besoins de la présente norme européenne, les symboles définis dans l'EN 1991-2 — Eurocode 1 : Actions générales : Charges sur les ponts, dues au trafic, et les symboles supplémentaires suivants s'appliquent.

Majuscules latines

F_W Force due au vent (symbole général)

F_{Wk} Valeur caractéristique de la force due au vent

F_W^* Force due au vent compatible avec le trafic routier

F_W^{**} Force due au vent compatible avec le trafic ferroviaire

G_{set} Action permanente due à des tassements non uniformes

Q_{Sn} Charge de neige

T Action thermique climatique (symbole général)

T_k Valeur caractéristique de l'action thermique climatique

Minuscules latines

d_{set} Tassement différentiel d'une fondation individuelle ou d'une partie d'une fondation par rapport à un niveau de référence

Majuscules grecques

Δd_{set} Incertitude affectant l'évaluation du tassement d'une fondation ou d'une partie d'une fondation

Minuscules grecques

γ_{bt} Valeur de crête maximale de l'accélération du tablier pour une voie ballastée

γ_{df} Valeur de crête maximale de l'accélération du tablier pour une voie posée directement

γ_{Gset} Coefficient partiel pour les actions permanents dues aux tassements, tenant compte aussi des incertitudes de modèle

γ Coefficient d'importance pour l'action sismique (voir l'EN 1998)

A2.2 Combinaisons d'actions**A2.2.1 Généralités**

(1) Il n'est pas nécessaire de considérer ensemble dans les combinaisons d'actions les effets d'actions qui pour des raisons physiques ou fonctionnelles ne peuvent pas être simultanées.

(2) Il convient de définir les combinaisons comportant des actions qui sortent du domaine d'application de l'EN 1991 (par exemple affaissements miniers, effets particuliers du vent, eau, débris flottants, inondation, coulées de boue, avalanches, incendie et pression de la glace) en accord avec la clause 1.1(3) de l'EN 1990.

NOTE 1 Des combinaisons faisant intervenir des actions qui sont en dehors du domaine d'application de l'EN 1991 peuvent être définies dans l'Annexe nationale ou pour le projet individuel.

NOTE 2 Pour les actions sismiques, voir l'EN 1998.

NOTE 3 Pour les actions de l'eau exercées par des courants et les effets des débris, voir aussi l'EN 1991-1-6.

(3) Il convient d'utiliser, lorsqu'on vérifie les états-limites ultimes, les combinaisons d'actions définies par les expressions 6.9a à 6.12b.

NOTE Les expressions 6.9a à 6.12b ne sont pas destinées à la vérification des états-limites de fatigue. Pour les vérifications à la fatigue, voir les EN 1991 à 1999.

(4) Il convient d'utiliser, pour la vérification des états-limites de service, les combinaisons d'actions définies par les expressions 6.14a à 6.16b. Des règles complémentaires sont données en A2.4 pour les vérifications relatives aux déformations et aux vibrations.

(5) Le cas échéant, il convient de prendre en compte simultanément les actions variables dues au trafic conformément aux sections correspondantes de l'EN 1991-2.

(6)P Pendant l'exécution les situations de projet appropriées doivent être prises en compte.

(7)P Lorsqu'un pont est mis en service par étapes, les situations de projet appropriées doivent être prises en compte.

(8) Lorsqu'il y a lieu, il convient de prendre en compte simultanément des charges particulières de construction dans les combinaisons d'actions appropriées.

NOTE Lorsque des charges de construction ne peuvent s'appliquer simultanément du fait de la mise en œuvre de mesures de surveillance, il n'est pas nécessaire de les prendre en compte dans les combinaisons d'actions appropriées.

(9)P Pour toute combinaison d'actions variables dues au trafic avec d'autres actions variables relevant d'autres parties de l'EN 1991, chaque groupe de charges défini dans l'EN 1991-2 est pris en compte comme une seule action variable.

(10) Il n'est pas nécessaire de considérer les charges de la neige et les actions du vent en même temps que les charges liées à l'activité de construction Q_{ca} (c'est-à-dire les charges dues au personnel d'exécution).

NOTE Pour un projet individuel, il peut être nécessaire de convenir des exigences pour la prise en compte simultanée de charges de neige et d'actions du vent avec d'autres charges de construction (par exemple les actions dues à de l'équipement lourd ou à des grues), pendant certaines situations de projet transitoires. Voir aussi les EN 1991-1-3, 1-4, 1-6.

(11) Lorsqu'il y a lieu, il convient de considérer les actions de la température et de l'eau simultanément avec les charges de construction. Le cas échéant, il convient de prendre en compte les divers paramètres déterminant les actions de l'eau et les composantes des actions dues à la température lorsqu'on identifie les combinaisons appropriées avec les charges de construction.

(12) Il convient d'introduire les actions de précontrainte dans les combinaisons d'actions en conformité avec A2.3.1(8) et les EN 1992 à EN 1999.

(13) Il convient de prendre en compte les effets des tassements différentiels s'ils sont considérés comme significatifs par rapport aux effets des actions directes.

NOTE Des limites affectant le tassement total ou le tassement différentiel peuvent être spécifiées pour le projet individuel.

(14) Lorsque la structure est très sensible aux tassements différentiels, il y a lieu de tenir compte des incertitudes liées à l'estimation de ces tassements.

(15) Il convient de classer les tassements différentiels de la structure dus à l'affaissement du sol comme une action permanente, G_{set} , à introduire dans les combinaisons d'actions pour les vérifications d'état-limite ultime et de service de la structure. Il convient de représenter G_{set} par un ensemble de valeurs $d_{\text{set},i}$ correspondant aux différences (par rapport à un niveau de référence) de tassements entre fondations individuelles — ou diverses parties de la fondation (i est le numéro de la fondation individuelle ou de la partie de la fondation).

NOTE 1 Les tassements sont principalement dus aux charges permanentes et aux remblais. Pour certains projets individuels des actions variables peuvent devoir être prises en compte.

NOTE 2 Les tassements évoluent de façon monotone (dans le même sens) avec le temps et doivent être pris en compte à partir du moment où ils ont des effets sur la structure (c'est-à-dire à partir du moment où la structure — ou la partie de la structure — devient hyperstatique). De plus, dans le cas d'une structure en béton ou comportant des éléments en béton, il peut se produire une interaction entre le développement des tassements et le fluage des éléments en béton.

(16) Il convient de prendre en compte, pour les valeurs des tassements différentiels entre les fondations individuelles ou entre les diverses parties des fondations, les estimations les plus probables $d_{\text{set},i}$ selon l'EN 1997 et en tenant compte du processus de construction de la structure.

NOTE Des méthodes d'évaluation des tassements sont données dans l'EN 1997.

(17) En l'absence de mesures de contrôle des tassements, il convient de déterminer l'action permanente représentant les tassements de la façon suivante :

- les estimations les plus probables $d_{\text{set},i}$ sont affectées à toutes les fondations individuelles ou aux diverses parties de la fondation,
- deux fondations individuelles ou parties d'une fondation individuelle, choisies de façon à obtenir l'effet le plus défavorable, sont soumises à un tassement $d_{\text{set},i} \pm \Delta d_{\text{set},i}$,

où $\Delta d_{\text{set},i}$ tient compte des incertitudes attachées à l'estimation des tassements.

A2.2.2 Règles de combinaison pour les ponts routiers

(1) Les valeurs non fréquentes des actions variables peuvent être utilisées pour certains états-limites de service de ponts en béton.

NOTE L'Annexe nationale peut évoquer la combinaison d'actions non fréquente. L'expression de cette combinaison d'actions est :

$$E_d = E \left\{ G_{k,j} ; P ; \psi_{1,\text{infq}} Q_{k,1} ; \psi_{1,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1 ; i > 1 \quad \dots (A2.1a)$$

dans laquelle la combinaison d'actions entre crochets { } peut s'exprimer ainsi :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ " + " } P \text{ " + " } \psi_{1,\text{infq}} Q_{k,1} \text{ " + " } \sum_{i > 1} \psi_{1,i} Q_{k,i} \quad \dots (A2.1b)$$

(2) Il n'est pas nécessaire de combiner le Modèle de charge 2 (ou le groupe de charges associé gr1b) ni la charge concentrée Q_{fwk} (voir 5.3.2.2 dans l'EN 1991-2) sur les passerelles avec aucune autre action variable non liée au trafic.

(3) Il n'est pas nécessaire de combiner les charges de neige ni les actions du vent avec :

- les forces de freinage ou d'accélération, ou les forces centrifuges, ou le groupe de charge associé gr2,
- les charges sur les trottoirs et les pistes cyclables ou le groupe de charges associé gr3,
- la charge de foule (Modèle de charge 4) ou le groupe de charges associé gr4.

NOTE Les règles de combinaison des véhicules spéciaux (voir l'Annexe A informative de l'EN 1991-2) avec le trafic normal (couvert par LM1 et LM2) et d'autres actions variables peuvent être mentionnées en tant que de besoin dans l'Annexe nationale, ou convenues pour le projet individuel.

(4) Il n'est pas nécessaire de combiner les charges de neige avec les Modèles de charge 1 et 2 ou les groupes de charges associés gr1a et gr1b, sauf spécification différente pour des zones géographiques particulières.

NOTE Les zones géographiques où les charges de neige peuvent avoir à être combinées avec les groupes de charges gr1a et gr1b peuvent être spécifiées dans l'Annexe nationale.

(5) Il n'y a pas lieu de combiner d'action de vent supérieure à la plus petite des deux valeurs F_W^* et $\psi_0 F_{Wk}$ avec le Modèle de charge 1 ou le groupe de charges associé gr1a.

NOTE Pour les actions du vent, voir l'EN 1991-1-4.

(6) Il n'est pas nécessaire de prendre en compte simultanément les actions du vent et les actions thermiques sauf spécification différente en raison de conditions climatiques locales.

NOTE En fonction des conditions climatiques locales, une règle différente pour la simultanéité des actions du vent et de la température peut être définie dans l'Annexe nationale ou pour le projet individuel.

A2.2.3 Règles de combinaison pour les passerelles

(1) Il n'est pas nécessaire de combiner la charge concentrée Q_{fwk} avec d'autres actions variables qui ne soient pas dues au trafic.

(2) Il n'est pas nécessaire de prendre en compte simultanément les actions du vent et les actions thermiques sauf spécification différente en fonction des conditions climatiques locales.

NOTE En fonction des conditions climatiques locales une règle différente pour la simultanéité des actions du vent et des actions thermiques peut être définie dans l'Annexe nationale ou pour le projet individuel.

(3) Il n'est pas nécessaire de prendre en compte simultanément les charges de neige et les groupes de charges gr1 et gr2 pour les passerelles sauf spécification différente pour des zones géographiques particulières et pour certains types de passerelles.

NOTE L'Annexe nationale peut spécifier les zones géographiques et les types de passerelles pour lesquels il peut y avoir lieu de combiner les charges de neige avec les groupes de charges gr1 et gr2.

(4) Il y a lieu de définir des combinaisons particulières d'actions pour les passerelles où le trafic des piétons et des cyclistes est totalement protégé de tout type de mauvais temps.

NOTE De telles combinaisons peuvent être fixées dans l'Annexe nationale ou définies pour le projet individuel. Sont recommandées des combinaisons d'actions analogues à celles pour les bâtiments (voir l'Annexe A1), en remplaçant les charges d'exploitation par le groupe de charges correspondant et en prenant des coefficients ψ relatifs au trafic en accord avec le tableau A2.2.

A2.2.4 Règles de combinaison pour les ponts ferroviaires

(1) Il n'est pas nécessaire de prendre en compte les charges de neige dans les combinaisons pour les situations de projet durables ni dans les combinaisons pour les situations de projet transitoires après la réalisation de l'ouvrage, sauf spécification différente pour des zones géographiques particulières ou pour certains types de ponts ferroviaires.

NOTE Les zones géographiques et les types de ponts ferroviaires pour lesquels il peut y avoir lieu de prendre en compte les charges de neige dans des combinaisons d'actions sont à spécifier dans l'Annexe nationale.

(2) Lorsque les actions dues au trafic et au vent sont simultanées, il convient de prendre en compte des combinaisons d'actions comportant :

- les actions verticales dues au trafic ferroviaire y compris le coefficient de majoration dynamique, les actions horizontales dues au trafic ferroviaire et les forces dues au vent, chacune de ces actions étant tour à tour considérée comme action dominante ;
- les actions verticales dues au trafic ferroviaire sans coefficient de majoration dynamique et les actions latérales dues au «train à vide» défini dans l'EN 1991-2 (6.3.4) sans forces dues au vent pour vérifier la stabilité.

(3) Il n'est pas nécessaire de combiner l'action du vent avec :

- les groupes de charges gr 13 ou gr 23 ;
- les groupes de charges gr 16, gr 17, gr 26, gr 27 et le Modèle de Charge SW/2 (voir l'EN 1991-2, 6.3.3).

(4) Pour les combinaisons avec les actions dues au trafic, il n'y a pas lieu de prendre pour l'action due au vent une valeur supérieure à la plus petite des deux valeurs obtenues pour F_W^{**} et $\psi_0 F_{Wk}$.

NOTE Afin de déterminer F_W^{**} , l'Annexe nationale peut donner les limites de la (ou des) vitesse(s) maximale(s) du vent compatibles avec le trafic ferroviaire. Voir aussi l'EN 1991-1-4.

(5) Il y a lieu de combiner les actions dues aux effets aérodynamiques du trafic ferroviaire (voir l'EN 1991-2, 6.6) et les actions dues au vent. Il convient de considérer chacune de ces actions tour à tour comme l'action variable dominante.

(6) Lorsqu'un élément structural n'est pas directement exposé au vent, il convient de déterminer l'action q_{ik} due aux effets aérodynamiques pour des vitesses de train amplifiées par la vitesse du vent.

(7) Lorsque les groupes de charges ne sont pas utilisés pour représenter le chargement dû au trafic ferroviaire, il convient de considérer la charge due au trafic ferroviaire comme une action variable multidirectionnelle avec des composantes individuelles à prendre en compte, selon le cas, avec la valeur maximale défavorable ou minimale favorable.

A2.2.5 Combinaisons d'actions pour des situations de projet accidentelles (non sismiques)

(1) Lorsque l'on doit prendre en compte une action dans une situation de projet accidentelle, il n'est pas nécessaire de mettre dans la même combinaison une autre action accidentelle ni une action du vent ni une charge de neige.

(2) Dans une situation de projet accidentelle concernant l'impact du trafic sous le pont (circulation routière ou ferroviaire), il convient de prendre en compte, dans la combinaison, les charges dues au trafic sur le pont comme des actions d'accompagnement, avec leur valeur fréquente.

NOTE 1 Pour les actions dues à un impact de la circulation, voir les EN 1991-2 et EN 1991-1-7.

NOTE 2 Des combinaisons d'actions supplémentaires pour d'autres situations de projet accidentelles (par exemple combinant des actions de trafic routier ou ferroviaire avec les effets d'avalanche, d'inondation ou d'affouillement) peuvent être convenues pour le projet individuel.

NOTE 3 Voir aussi 1) dans le tableau A2.1

(3) Pour les ponts ferroviaires, pour une situation de projet accidentelle relative aux actions causées par un train qui déraile sur le pont, il convient de prendre en compte, dans les combinaisons, les actions du trafic ferroviaire sur les autres voies comme des actions d'accompagnement, avec leurs valeurs de combinaison.

NOTE 1 Pour les actions dues à un impact de la circulation, voir les EN 1991-2 et EN 1991-1-7.

NOTE 2 Les actions pour les situations de projet accidentelles dues à l'impact d'une circulation ferroviaire sur le pont y compris les actions dues à un déraillement sont définies dans l'EN 1991-2, 6.7.1.

(4) Il y a lieu d'identifier les situations de projet accidentelles impliquant des collisions de bateaux avec des ponts.

NOTE Pour ce qui concerne l'impact de bateaux, voir l'EN 1991-1-7. Des exigences complémentaires peuvent être spécifiées pour le projet individuel.

A2.2.6 Valeurs des coefficients ψ

(1) Il convient de spécifier les valeurs des coefficients ψ .

NOTE 1 Les coefficients ψ peuvent être donnés dans l'Annexe nationale. Les valeurs recommandées des coefficients ψ pour les groupes de charges de trafic et pour les autres actions les plus courantes sont données dans :

- le tableau A2.1 pour les ponts routiers,
- le tableau A2.2 pour les passerelles,
- et le tableau A2.3 pour les ponts ferroviaires, à la fois pour les groupes de charges et pour les composantes individuelles des actions de trafic.

Tableau A2.1 — Valeurs recommandées des coefficients ψ pour les ponts routiers

Action	Symbole		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Charges de trafic (voir l'EN 1991-2, tableau 4.4)	gr1a (LM1+ charges de piétons ou de piste cyclable) ¹⁾	TS	0,75	0,75	0
		UDL	0,40	0,40	0
		Charges de piétons + piste cyclable ²⁾	0,40	0,40	0
	gr1b (essieu unique)		0	0,75	0
	gr2 (forces horizontales)		0	0	0
	gr3 (charges dues aux piétons)		0	0	0
	gr4 (LM4 — chargement par une foule)		0	0,75	0
	gr5 (LM3 — véhicules spéciaux)		0	0	0
Forces dues au vent	F_{Wk} — situations de projet durables — exécution		0,6 0,8	0,2 —	0 0
	F_W^*		1,0	—	—
	Actions de la température		T_k	0,6 ³⁾	0,6
Charges de neige	$Q_{Sn,k}$ (pendant l'exécution)		0,8	—	—
Charges de construction	Q_c		1,0	—	1,0

1) Les valeurs recommandées de ψ_0 , ψ_1 et ψ_2 pour gr1a et gr1b sont données pour un trafic routier correspondant à des coefficients d'ajustement α_{Qi} , α_{qi} , α_{qr} et β_Q égaux à 1. Celles qui concernent le système UDL correspondent à des scénarios de trafic courants, dans lesquels une accumulation rare de camions peut se produire. D'autres valeurs peuvent être envisagées, pour d'autres types de routes ou de trafic attendu, en relation avec le choix des coefficients α correspondants. Par exemple, une valeur de ψ_2 différente de zéro peut être envisagée, pour le système UDL de LM1 seulement, pour les ponts portant un trafic lourd et continu. Voir aussi l'EN 1998.

2) La valeur de combinaison de la charge de piétons et de piste cyclable mentionnée dans le tableau 4.4a de l'EN 1991-2 est une valeur «réduite». Les coefficients ψ_0 et ψ_1 sont applicables à cette valeur.

3) La valeur recommandée de ψ_0 pour les actions dues à la température peut dans la plupart des cas être réduite à zéro pour les états-limites ultimes EQU, STR et GEO. Voir aussi les Eurocodes de projet.

NOTE 2 Lorsque l'Annexe nationale traite de la combinaison non fréquente d'actions pour des états-limites de service de ponts en béton, elle peut définir les valeurs de $\psi_{1,infq}$. Les valeurs recommandées de $\psi_{1,infq}$ sont :

- 0,80 pour gr1a (LM1), gr1b (LM2), gr3 (charges des piétons), gr4 (LM4, chargement de foule) et T (actions dues à la température) ;
- 0,60 pour F_{wk} dans les situations de projet durables
- 1,00 dans d'autres cas (ce qui signifie que la valeur caractéristique est utilisée en tant que valeur non fréquente)

NOTE 3 Les valeurs caractéristiques des actions du vent et des charges de la neige pendant l'exécution sont définies dans l'EN 1991-1-6. Lorsqu'il y a lieu, des valeurs représentatives pour les forces dues à l'eau (F_{wa}) peuvent être définies dans l'Annexe nationale ou pour le projet individuel .

Tableau A2.2 — Valeurs recommandées des coefficients ψ pour les passerelles

Action	Symbole	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Charges de trafic	gr1	0,40	0,40	0
	Q_{fwb}	0	0	0
	gr2	0	0	0
Forces dues au vent	F_{wk}	0,3	0,2	0
Actions de la température	T_k	0,6 ¹⁾	0,6	0,5
Charges de neige	$Q_{Sn,k}$ (pendant l'exécution)	0,8	—	0
Charges de construction	Q_c	1,0	—	1,0
1) La valeur recommandée ψ_0 pour les actions dues à la température peut dans la plupart des cas être réduite à zéro pour les états-limites ultimes EQU, STR et GEO. Voir aussi les Eurocodes de projet.				

NOTE 4 Pour les passerelles, il n'y a pas lieu de prendre en compte la valeur non fréquente des actions variables.

Tableau A2.3 — Valeurs recommandées des coefficients ψ pour les ponts ferroviaires

Actions			ψ_0	ψ_1	ψ_2 ⁴⁾
Composantes individuelles des actions du trafic ⁵⁾	LM 71		0,80	1)	0
	SW/0		0,80	1)	0
	SW/2		0	1,00	0
	Train non chargé		1,00	—	—
	HSLM		1,00	1,00	0
	Traction et freinage	Les composantes individuelles des actions dues au trafic pour les situations de projet où les charges de trafic sont considérées comme une action unique (multidirectionnelle) dominante, et non pas comme des groupes de charges, doivent utiliser les mêmes valeurs des coefficients ψ que ceux adoptés pour les charges verticales associées.			
	Forces centrifuges				
	Forces d'interaction dues aux déformations sous les charges verticales de trafic				
	Forces de lacet		1,00	0,80	0
Principales actions de trafic (groupes de charges)	Charges des passages piétons non publics		0,80	0,50	0
	Train Réel		1,00	1,00	0
	Poussée des terres horizontale due aux charges de trafic		0,80	1)	0
	Effets aérodynamiques		0,80	0,50	0
	gr11 (LM71 + SW/0)	Max. vertical 1 avec max. longitudinal	0,80	0,80	0
	gr12 (LM71 + SW/0)	Max. vertical 2 avec max. transversal			
	gr13 (freinage/traction)	Max. longitudinal			
	gr14 (centrifuge/lacet)	Max. latéral			
	gr15 (train non chargé)	Stabilité latérale avec train «non chargé»			
	gr16 (SW/2)	SW/2 avec max. longitudinal			
	gr17 (SW/2)	SW/2 avec max. transversal	0,80	0,70	0
	gr21 (LM71 + SW/0)	Max. vertical 1 avec max. longitudinal			
	gr22 (LM71 + SW/0)	Max. vertical 2 avec max. transversal			
	gr23 (freinage/traction)	Max. longitudinal			
	gr24 (centrifuge/lacet)	Max. latéral			
	gr26 (SW/2)	SW/2 avec max. longitudinal			
	gr27 (SW2)	SW/2 avec max. transversal			
	gr31 (LM71 + SW/0)	Cas de charge additionnels	0,80	0,60	0

(à suivre)

Tableau A2.3 — Valeurs recommandées des coefficients ψ pour les ponts ferroviaires (fin)

Actions		ψ_0	ψ_1	ψ_2 ⁴⁾
Autres actions opérationnelles	Effets aérodynamiques	0,80	0,50	0
	Charge générale d'entretien pour la maintenance sur les passages piétons non publics	0,80	0,50	0
Forces dues au vent ²⁾	F_{Wk}	0,75	0,50	0
	F_W^{**}	1,00	0	0
Actions dues à la température ³⁾	T_k	0,60	0,60	0,50
Charges de neige	$Q_{Sn,k}$ (pendant la construction)	0,8	—	0
Charges de construction	Q_c	1,0	—	1,0

- 1) 0,8 si une voie seulement est chargée
0,7 si 2 voies sont simultanément chargées
0,6 si 3 voies ou plus sont simultanément chargées.
- 2) Lorsque le vent agit simultanément avec le trafic, il n'y a pas lieu de prendre une force due au vent $\psi_0 F_{Wk}$ supérieure à F_W^{**} (voir l'EN 1991-1-4). Voir A2.2.4(4).
- 3) Voir l'EN 1991-1-5.
- 4) Si c'est la déformation qui est examinée pour les situations de projet durables et transitoires, il y a lieu de prendre ψ_2 égal à 1,00 pour l'action du trafic ferroviaire. Pour les situations de projet sismiques, voir le tableau A2.5.
- 5) La force verticale minimale favorable à faire coexister avec des composantes individuelles d'actions du trafic ferroviaire (par exemple centrifuges, d'accélération ou de freinage) est 0,5 LM71 etc.

NOTE 5 Pour des situations de projet spécifiques (par exemple pour le calcul de la contre-flèche à donner pour l'esthétique et l'évacuation des eaux, le calcul du gabarit, etc.), les combinaisons d'actions à utiliser peuvent être définies pour le projet individuel.

NOTE 6 Pour les ponts ferroviaires, il n'y a pas lieu de prendre en compte la valeur non fréquente des actions variables.

(2) Pour les actions dues au trafic, il convient d'appliquer une seule et même valeur ψ pour un groupe de charges tel que défini dans l'EN 1991-2, égale à la valeur applicable à la composante dominante du groupe.

(3) Lorsque des groupes de charges sont utilisés, il y a lieu d'utiliser les groupes définis dans le tableau 6.11 en 6.8.2 de l'EN 1991-2.

(4) S'il y a lieu, il convient de prendre en compte des combinaisons d'actions individuelles dues au trafic (y compris des actions dues à des composantes individuelles).

NOTE Il peut aussi être nécessaire de prendre en compte des actions individuelles dues au trafic, par exemple pour dimensionner les appareils d'appui structuraux, pour évaluer les chargements maximal latéral et minimal vertical, les efforts de retenue des appuis, les efforts maximaux de renversement des culées (en particulier pour les ponts continus), etc., voir le tableau A2.3.

A2.3 États-limites ultimes

NOTE Vérification à la fatigue exclue.

A2.3.1 Valeurs de calcul des actions dans les situations de projet durables et transitoires

(1) Il convient de prendre les valeurs de calcul des actions pour les états-limites ultimes dans les situations de projet durables et transitoires (expressions 6.9a à 6.10b) en conformité avec les tableaux A2.4(A) à (C).

NOTE Les valeurs des tableaux A2.4(A) à (C) peuvent être modifiées dans l'Annexe nationale (par exemple pour différents niveaux de fiabilité, voir Section 2 et Annexe B).

(2) Dans l'application des tableaux A2.4(A) à A2.4(C), dans les cas où l'état-limite est très sensible aux variations de grandeur d'actions permanentes, il convient d'utiliser les valeurs caractéristiques inférieures et supérieures des actions telles que définies en 4.1.2(2)P.

(3) Il convient de vérifier l'équilibre statique (EQU, voir 6.4.1 et 6.4.2(2)) pour les ponts en utilisant les valeurs de calcul des actions du tableau A2.4(A).

(4) Il convient de vérifier le dimensionnement des éléments structuraux (STR, voir 6.4.1) non soumis à des actions géotechniques, en utilisant les valeurs de calcul des actions du tableau A2.4(B).

(5) Il convient de vérifier le dimensionnement des éléments structuraux (semelles, pieux, piles, murs latéraux, murs en aile, murs en retour et murs de front des culées, murs de retenue de ballast, etc.) (STR) en tenant compte des actions géotechniques, et la résistance du terrain (GEO, voir 6.4.1), en utilisant l'une des trois approches suivantes complétées, pour les actions géotechniques et les résistances, par l'EN 1997 :

NOTE approche 1 : application, dans des calculs séparés, de valeurs de calcul provenant du tableau A2.4(C) et du Tableau A2.4(B) aux actions géotechniques, aussi bien aux qu'aux autres actions appliquées à la structure ou en provenance de celle-ci ;

— approche 2 : application de valeurs de calcul provenant du tableau A2.4 (B) aux actions géotechniques ainsi qu'aux autres actions appliquées à la structure ou en provenance de celle-ci ;

— approche 3 : application de valeurs de calcul provenant du tableau A2.4(C) aux actions géotechniques et, simultanément, application de valeurs de calcul provenant du tableau A2.4(B) aux autres actions appliquées à la structure ou en provenance de celle-ci.

NOTE L'utilisation de l'approche 1, 2 ou 3 est choisie dans l'Annexe nationale.

(6) Il convient de vérifier la stabilité générale (par exemple la stabilité d'un terrain en pente supportant une pile de pont) en conformité avec l'EN 1997.

(7) Il convient de vérifier, lorsqu'il y a lieu, l'absence de défaillance d'origine hydraulique et par sous-pressions (par exemple dans le fond d'une fouille pour une fondation de pont) conformément à l'EN 1997.

NOTE Pour les actions dues à l'eau et aux débris flottants, voir l'EN 1991-1-6. Des profondeurs d'affouillement général et local pourront être définies pour le projet individuel. Les exigences relatives à la prise en compte des forces dues à la pression des glaces sur les appuis des ponts etc. pourront être définies dans l'Annexe nationale ou pour le projet individuel.

(8) Pour ce qui concerne les actions de précontrainte, il convient de définir les valeurs des coefficients γ_p applicables aux valeurs représentatives appropriées de ces actions en conformité avec les EN 1990 à 1999.

NOTE Dans les cas où les valeurs des coefficients γ_p ne sont pas fournies dans les Eurocodes de projet correspondants, ces valeurs peuvent être définies, le cas échéant, soit dans l'Annexe nationale soit pour le projet individuel. Elles dépendent, entre autres :

— du type de précontrainte (voir la Note de 4.1.2(6))

— du classement de la précontrainte en action directe ou indirecte (voir 1.5.3.1)

— du type d'analyse structurale (voir 1.5.6)

— du caractère défavorable ou favorable de l'action de précontrainte, et de sa position dans la combinaison en tant qu'action dominante ou d'accompagnement.

Voir aussi l'EN 1991-1-6 en cours d'exécution.

Tableau A2.4 (A) — Valeurs de calcul d'actions (EQU) (Ensemble A)

Situation de projet durable et transitoire	Actions permanentes		Précontrainte	Action variable dominante (*)	Actions variables d'accompagnement (*)	
	défavorables	favorables			principale (le cas échéant)	autres
(Eq. 6.10)	$\gamma_{G,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(*) Les actions variables sont celles des tableaux A2.1 à A2.3

NOTE 1 Les valeurs des coefficients γ pour les situations de projet durables et transitoires peuvent être données dans l'Annexe nationale.

Pour les situations de projet durables, l'ensemble de valeurs recommandé pour γ est le suivant :

$$\gamma_{G,sup} = 1,05$$

$$\gamma_{G,inf} = 0,95 \text{ }^1)$$

$\gamma_Q = 1,35$ pour les actions dues aux trafics routier et de piétons, lorsqu'elles sont défavorables (0 lorsqu'elles sont favorables)

$\gamma_Q = 1,45$ pour les actions dues au trafic ferroviaire, lorsqu'elles sont défavorables (0 lorsqu'elles sont favorables)

$\gamma_Q = 1,50$ pour toutes les autres actions variables pour les situations de projet durables, lorsqu'elles sont défavorables (0 lorsqu'elles sont favorables)

γ_P = les valeurs recommandées définies dans l'Eurocode de projet approprié.

Pour les situations de projet transitoires durant lesquelles il y a risque de perte d'équilibre statique, $Q_{k,1}$ représente l'action variable déstabilisatrice dominante et $Q_{k,i}$ les actions variables déstabilisatrices d'accompagnement appropriées.

Pendant la construction, si l'exécution est convenablement contrôlée, l'ensemble de valeurs recommandé pour γ est :

$$\gamma_{G,sup} = 1,05$$

$$\gamma_{G,inf} = 0,95 \text{ }^1)$$

$\gamma_Q = 1,35$ pour les charges de construction, lorsqu'elles sont défavorables (0 si elles sont favorables)

$\gamma_Q = 1,50$ pour toutes les autres actions variables, lorsqu'elles sont défavorables (0 si elles sont favorables).

1) Lorsqu'un contrepoids est utilisé, on peut tenir compte de l'incertitude affectant ses caractéristiques, par exemple selon l'une ou l'ensemble des deux méthodes recommandées suivantes :

— en appliquant un coefficient partiel $\gamma_{G,inf} = 0,8$ lorsque le poids propre n'est pas bien défini (par exemple pour des conteneurs) ;

— lorsque la grandeur du contrepoids est bien connue, en prenant en compte une possible variation de sa position de projet, spécifiée en proportion des dimensions du pont. Pour les ponts métalliques en cours de lancement, la variation de la position du contre-poids est souvent prise égale à ± 1 m.

NOTE 2 Pour la vérification du soulèvement d'appareils d'appui pour des ponts continus ou lorsque la vérification de l'équilibre statique fait intervenir aussi la résistance d'éléments structuraux (par exemple lorsque la perte d'équilibre est empêchée par des systèmes ou des dispositifs stabilisateurs tels que des ancrages, des haubans, des palées provisoires), il est possible d'adopter, en variante par rapport aux deux vérifications séparées basées sur les tableaux A2.4(A) et A2.4(B), une vérification combinée basée sur le tableau A2.4(A). L'Annexe nationale peut définir les valeurs des coefficients γ . Les valeurs suivantes de γ sont recommandées :

$$\gamma_{G,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{G,inf} = 1,25$$

$\gamma_Q = 1,35$ pour les actions dues aux trafics routier et de piétons, lorsqu'elles sont défavorables (0 lorsqu'elles sont favorables)

$\gamma_Q = 1,45$ pour les actions dues au trafic ferroviaire, lorsqu'elles sont défavorables (0 lorsqu'elles sont favorables)

$\gamma_Q = 1,50$ pour toutes les autres actions variables pour les situations de projet durables, lorsqu'elles sont défavorables (0 lorsqu'elles sont favorables)

$\gamma_Q = 1,35$ pour toutes les autres actions variables, lorsqu'elles sont défavorables (0 lorsqu'elles sont favorables)

à condition que le fait d'appliquer $\gamma_{G,inf} = 1,00$ à la part favorable comme à la part défavorable des actions permanentes ne conduise pas à un effet plus défavorable.

Tableau A2.4(B) — Valeurs de calcul des actions (STR/GEO) (Ensemble B)

Situations de projet durable et transitoire	Actions permanentes		Pré-contrainte	Action variable dominante (*)	Actions variables d'accompagnement (*)		Situations de projet durable et transitoire	Actions permanentes		Pré-contrainte	Action variable dominante (*)	Actions variables d'accompagnement (*)	
	défavorables	favorables			principale (le cas échéant)	autres		défavorables	favorables			principale (le cas échéant)	autres
(Eq. 6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	γ_P^P	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	(Eq. 6.10a)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	γ_P^P		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
							(Eq. 6.10b)	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	γ_P^P	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(*) Les actions variables sont celles considérées aux tableaux A2.1 à A2.3.

NOTE 1 Le choix entre 6.10, ou 6.10a et 6.10b sera dans l'Annexe nationale. Si c'est 6.10a et 6.10b, l'Annexe nationale peut de plus modifier 6.10a pour n'y inclure que les actions permanentes.

NOTE 2 Les valeurs des coefficients γ et ξ peuvent être données dans l'Annexe nationale. Les valeurs suivantes des coefficients γ et ξ sont recommandées pour l'usage de 6.10 ou 6.10a et 6.10b :

$\gamma_{G,sup} = 1,35$ ¹⁾.

$\gamma_{G,inf} = 1,00$.

$\gamma_Q = 1,35$ lorsque Q représente des actions défavorables dues aux trafics routier ou de piétons (0 lorsqu'elles sont favorables).

$\gamma_Q = 1,45$ lorsque Q représente les actions défavorables dues au trafic ferroviaire, pour les groupes de charges 11 à 31 (sauf les groupes 16, 17, 26 ³⁾ et 27 ³⁾), aux modèles de charges LM71, SW/0 et HSLM et aux trains réels, lorsque ces actions sont considérées comme des actions dominantes individuelles dues au trafic (0 lorsqu'elles sont favorables).

$\gamma_Q = 1,20$ lorsque Q représente les actions défavorables dues au trafic ferroviaire, pour les groupes de charges 16 et 17 et SW/2 (0 lorsqu'elles sont favorables).

$\gamma_Q = 1,50$ pour les autres actions dues au trafic et les autres actions variables ²⁾.

$\xi = 0,85$ (de sorte que $\xi \gamma_{G,sup} = 0,85 \times 1,35 \approx 1,15$).

$\gamma_{Gset} = 1,20$ dans le cas d'une analyse élastique linéaire, et $\gamma_{Gset} = 1,35$ dans le cas d'une analyse élastique non-linéaire, pour les situations de projet où les actions dues à des tassements différentiels peuvent avoir des effets défavorables. Pour les situations de projet où les actions dues à des tassements différentiels peuvent avoir des effets favorables, ces actions ne sont pas à prendre ne compte.

Voir aussi les EN 1991 à 1999 pour les valeurs des coefficients γ à utiliser pour les déformations imposées.

γ_P = les valeurs recommandées définies dans l'Eurocode de projet approprié.

1) Cette valeur s'applique au poids propre des éléments structuraux et non structuraux, au ballast, au sol, à l'eau souterraine et libre, aux charges déplaçables, etc.

2) Cette valeur s'applique à la poussée horizontale variable due aux actions du sol, de l'eau souterraine, de l'eau libre, du ballast, à la poussée des terres provoquée par le supplément de charge due au trafic, aux actions aérodynamiques, aux actions du vent, aux actions de la température, etc.

3) Pour les actions dues au trafic ferroviaire relatives aux groupes de charges 26 et 27, on peut appliquer $\gamma_Q = 1,20$ aux composantes individuelles des actions de trafic associées au modèle SW/2 et $\gamma_Q = 1,45$ aux composantes individuelles des actions de trafic associées aux modèles de charges LM71, SW/0 et HSLM etc.

NOTE 3 Les valeurs caractéristiques de toutes les actions permanentes d'une même origine sont multipliées par $\gamma_{G,sup}$ si l'effet total résultant de ces actions est défavorable, et par $\gamma_{G,inf}$ si l'effet total est favorable. Par exemple, toutes les actions provenant du poids propre de la structure peuvent être considérées comme émanant d'une même origine ; cela s'applique également si plusieurs matériaux sont concernés. Voir toutefois A2.3.1(2).

NOTE 4 Pour des vérifications particulières, les valeurs γ_G et γ_Q peuvent être subdivisées en γ_g , γ_q et le coefficient d'incertitude du modélisation γ_{sd} . Une valeur de γ_{sd} prise entre 1,0 et 1,15 peut être utilisée dans la plupart des cas courants, et peut être modifiée dans l'Annexe nationale.

NOTE 5 Lorsque des actions dues à l'eau ne sont pas couvertes par l'EN 1997 (par exemple l'eau courante), les combinaisons d'actions à utiliser peuvent être définies pour le projet individuel.

Tableau A2.4(C) — Valeurs de calcul des actions (STR/GEO) (Ensemble C)

Situations de projet durable ou transitoire	Actions permanentes		Précontrainte	Action variable dominante (*)	Actions variables d'accompagnement (*)	
	défavorables	favorables			principale (le cas échéant)	les autres
(Eq. 6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(*) Les actions variables sont celles considérées aux tableaux A2.1 à A2.3.

NOTE les valeurs des coefficients γ peuvent être données par l'Annexe nationale. L'ensemble de valeurs recommandées est le suivant :

$\gamma_{G,sup} = 1,00$

$\gamma_{G,inf} = 1,00$

$\gamma_{Gset} = 1,00$

$\gamma_Q = 1,15$ pour les actions dues aux trafics routiers et de piétons, lorsqu'elles sont défavorables (0 lorsqu'elles sont favorables)

$\gamma_Q = 1,25$ pour les actions dues au trafic ferroviaire, lorsqu'elles sont défavorables (0 lorsqu'elles sont favorables)

$\gamma_Q = 1,30$ pour la partie variable de la poussée horizontale des terres provenant du sol, de l'eau souterraine, de l'eau libre et du ballast, pour le supplément de poussée des terres horizontale créée par la charge de trafic, lorsqu'elles sont défavorables (0 lorsqu'elles sont favorables)

$\gamma_Q = 1,30$ pour toutes les autres actions variables lorsqu'elles sont défavorables (0 lorsqu'elles sont favorables)

$\gamma_{Gset} = 1,00$ dans le cas d'une analyse élastique linéaire ou non linéaire, pour les situations de projet où les actions dues à des tassements différentiels peuvent avoir des effets défavorables. Pour les situations de projet où les actions dues à des tassements différentiels peuvent avoir des effets favorables, ces actions ne sont pas à prendre en compte.

γ_P = les valeurs recommandées définies dans l'Eurocode de projet approprié.

A2.3.2 Valeurs de calcul des actions dans les situations de projet accidentelles et sismiques

(1) Les coefficients partiels des actions pour les états-limites ultimes dans les situations de projet accidentelles et sismiques (expressions 6.11a à 6.12b) sont donnés au tableau A2.5. Les valeurs des coefficients γ sont données aux tableaux A2.1 à A2.3.

NOTE Pour la situation de projet sismique, voir aussi l'EN 1998.

**Tableau A2.5 — Valeurs de calcul d'actions à utiliser
dans les combinaisons d'actions accidentelles et sismiques**

Situation de projet	Actions permanentes		Précontrainte	Action accidentelle ou sismique	Actions variables d'accompagnement (**)	
	défavorables	favorables			principale (le cas échéant)	autres
accidentelle (*) (Eq. 6.11a/b)	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	P	A_d	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$ ou $\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
sismique (***) (Eq. 6.12a/b)	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	P	$A_{Ed} = \gamma_1 A_{Ek}$		$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

(*) Dans le cas des situations de projet accidentelles, l'action variable principale peut être prise avec sa valeur fréquente, ou, comme dans les combinaisons sismiques d'actions, avec sa valeur quasi-permanente. Le choix sera précisé dans l'Annexe nationale, en fonction de l'action accidentelle considérée.

(**) Les actions variables sont celles considérées aux tableaux A2.1 à A2.3.

(***) Des situations de projet sismiques particulières peuvent être spécifiées par l'Annexe nationale ou pour le projet individuel. Pour les ponts ferroviaires, il n'est nécessaire de charger qu'une seule voie et le modèle de charge SW/2 peut être ignoré.

NOTE Les valeurs de calcul du présent tableau peuvent être modifiées dans l'Annexe nationale. Les valeurs recommandées sont $\gamma = 1,0$ pour toutes les actions non sismiques.

(2) Lorsque, dans des cas spéciaux, il est nécessaire de considérer une ou plusieurs actions variables en même temps que l'action accidentelle, il convient de définir leurs valeurs représentatives.

NOTE À titre d'exemple, dans le cas de ponts construits en encorbellement, certaines charges de construction peuvent être considérées comme agissant en même temps que la chute accidentelle d'un élément préfabriqué. Les valeurs représentatives correspondantes peuvent être définies pour le projet individuel.

(3) Pour les phases de construction pendant lesquelles il y a un risque de perte de l'équilibre statique, il y a lieu de prendre la combinaison d'actions suivante :

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj,sup} + \sum_{j \geq 1} G_{kj,inf} + P + A_d + \psi_2 Q_{c,k} \quad \dots \text{ (A2.2)}$$

où :

$Q_{c,k}$ est la valeur caractéristique des charges de construction définies dans l'EN 1991-1-6 (c'est-à-dire la valeur caractéristique de la combinaison appropriée des groupes Q_{ca} , Q_{cb} , Q_{cc} , Q_{cd} , Q_{ce} et Q_{cf}).

A2.4 États-limites de service et autres états-limites particuliers

A2.4.1 Généralités

(1) Pour les états-limites de service il convient de prendre comme valeurs de calcul des actions celles qui sont données au tableau A2.6, sauf spécification différente dans les EN 1991 à 1999.

NOTE 1 Les coefficients γ pour les actions dues au trafic et les autres actions, pour l'état-limite de service, peuvent être définis dans l'Annexe nationale. Les valeurs de calcul recommandées sont données au tableau A2.6, où tous les coefficients γ sont pris égaux à 1,0.

Tableau A2.6 — Valeurs de calcul des actions à utiliser dans la combinaison d'actions

Combinaison	Actions permanentes G_d		Précontrainte	Actions variables Q_d	
	défavorables	favorables		dominante	autres
Caractéristique	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Fréquente	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Quasi-permanente	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

NOTE 2 L'Annexe nationale peut aussi faire référence à la combinaison non fréquente d'actions

(2) Il convient de définir des critères d'aptitude au service qui soient en rapport avec les exigences de service en conformité avec 3.4 et les EN 1992 à EN 1999. Il convient de calculer les déformations selon les EN 1991 à 1999, en utilisant les combinaisons d'actions appropriées conformément aux expressions (6.14a) à (6.16b) (voir le tableau A2.6), en prenant en compte les exigences d'aptitude au service et la distinction entre états-limites réversibles et irréversibles.

NOTE Les exigences d'aptitude au service et les critères correspondants peuvent être définis soit dans l'Annexe nationale soit pour le projet individuel.

A2.4.2 Critères d'aptitude au service en matière de déformation et de vibration pour les ponts routiers

(1) Lorsqu'il y a lieu, il convient de définir des exigences et des critères pour les ponts routiers concernant :

- le soulèvement du tablier du pont au droit des appuis,
- l'endommagement des appareils d'appuis structuraux.

NOTE Un soulèvement de l'extrémité d'un tablier peut porter atteinte à la sécurité du trafic et endommager des éléments structuraux et non structuraux. Le soulèvement peut être évité grâce à un niveau de sécurité plus élevé que celui qui est habituellement accepté pour les états-limites de service.

(2) Il convient de définir les états-limites de service pendant la construction en accord avec les EN 1990 à 1999.

(3) Il y a lieu de définir le cas échéant des exigences et des critères pour les ponts routiers, relatifs aux déformations et aux vibrations.

NOTE 1 La vérification des états-limites de service en matière de déformation et de vibration n'est à envisager que dans des cas exceptionnels pour les ponts routiers. La combinaison d'actions fréquente est recommandée pour l'évaluation des déformations.

NOTE 2 Les vibrations des ponts routiers peuvent avoir diverses origines, notamment les actions dues au trafic et les actions du vent. Pour les vibrations dues aux actions du vent, voir l'EN 1991-1-4. Pour les vibrations engendrées par les actions dues au trafic, il peut être nécessaire de considérer des critères de confort. Il peut aussi y avoir lieu de prendre en compte la fatigue.

A2.4.3 Vérifications de la vibration des passerelles sous l'action du trafic des piétons

NOTE Pour les vibrations dues aux actions du vent, voir l'EN 1991-1-4.

A2.4.3.1 Situations de projet et hypothèses de trafic associées

(1) Il convient de définir les situations de projet (voir 3.2) en fonction du trafic des piétons qui sera admis sur la passerelle individuelle au cours de sa durée d'utilisation de projet.

NOTE Les situations de projet peuvent tenir compte de la façon dont la circulation des piétons sera autorisée, réglementée et contrôlée en fonction du projet individuel.

(2) Selon l'aire du tablier, ou l'aire de la partie considérée du tablier, il y a lieu de prendre en compte, pour les situations de projet considérées comme durables, un groupe d'environ 8 à 15 personnes marchant normalement.

(3) Selon l'aire du tablier, ou l'aire de la partie considérée du tablier, il convient, le cas échéant, de spécifier d'autres catégories de circulations de piétons, associées à des situations de projet durables, transitoires ou accidentelles, comprenant :

- la présence de flots de piétons (nettement plus que 15 personnes) ;
- des événements festifs ou chorégraphiques occasionnels.

NOTE 1 Ces catégories de trafic et les situations de projet correspondantes peuvent devoir être définies pour un projet individuel, non seulement pour des ouvrages situés dans des zones urbanisées à forte densité démographique, mais aussi à proximité de gares ferroviaires ou routières, d'écoles, de tout autre endroit où des foules peuvent se rassembler, ou de bâtiments importants recevant du public.

NOTE 2 La définition des situations de projet correspondant aux événements festifs ou chorégraphiques occasionnels dépend du niveau de contrôle que l'on peut attendre du propriétaire ou de l'autorité responsable. On ne donne pas de règle de vérification ici et des études spéciales peuvent se révéler nécessaires. La bibliographie spécialisée peut éventuellement contenir de l'information sur les critères de dimensionnement correspondants.

A2.4.3.2 Critères de confort pour les piétons (aptitude au service)

(1) Il convient de définir les critères de confort en terme d'accélération maximale admissible pour toute partie du tablier.

NOTE Les critères peuvent être donnés soit dans l'Annexe nationale soit pour le projet individuel. Les accélérations suivantes (en m/s^2) sont les valeurs maximales recommandées pour toute partie du tablier :

- i) 0,7 pour les vibrations dans le sens vertical,
- ii) 0,2 pour les vibrations dans le sens horizontal en utilisation normale
- iii) 0,4 pour des conditions exceptionnelles de foule.

(2) Il y a lieu d'effectuer une vérification au regard des critères de confort si la fréquence fondamentale du tablier est inférieure à :

- 5 Hz pour les vibrations verticales
- 2,5 Hz pour les vibrations horizontales (latérales) et les vibrations de torsion.

NOTE Les données utilisées pour les calculs, et par conséquent les résultats des calculs, sont sujets à de très fortes incertitudes. Aussi lorsque les critères de confort sont satisfaits sans une marge significative, il peut s'avérer nécessaire de prévoir au niveau du projet la possibilité d'installer des amortisseurs dans la structure après sa construction. Dans de tels cas, il convient que soient considérés et identifiés, lors du projet, les conditions de réalisation d'essais de contrôle.

A2.4.4 Vérifications relatives aux déformations et aux vibrations pour les ponts ferroviaires

A2.4.4.1 Généralités

(1) L'article A2.4.4 donne les limites des déformations et des vibrations à prendre en compte pour le dimensionnement des nouveaux ponts ferroviaires.

NOTE 1 Des déformations excessives du pont peuvent mettre en danger le trafic en créant des modifications inacceptables du profil en long ou du tracé en plan des voies ferrées, des contraintes excessives dans les rails et des vibrations des structures du pont. Des vibrations excessives peuvent provoquer une instabilité du ballast ainsi qu'une réduction inacceptable des forces de contact entre roue et rail. Des déformations excessives peuvent aussi affecter les charges imposées au système voie/pont, et créer des conditions d'inconfort pour les passagers.

NOTE 2 Les limites de déformation et de vibration sont soit explicites soit implicites dans les critères de rigidité d'ouvrage donnés en A2.4.4.1(2)P.

NOTE 3 L'Annexe nationale peut spécifier des limites de déformation et de vibration à prendre en compte pour le dimensionnement des tabliers auxiliaires. L'Annexe nationale peut définir des exigences particulières pour les tabliers auxiliaires, en fonction de leurs conditions d'utilisation (par exemple, des exigences particulières pour les ponts biais).

(2)P Des vérifications relatives aux déformations du pont doivent être effectuées pour la sécurité des circulations sur les points suivants :

- les accélérations verticales du tablier (afin d'éviter de déstabiliser le ballast et de réduire de façon inacceptable les forces de contact roue-rail — voir A2.4.4.2.1),
- la flèche verticale que prend le tablier tout au long de chaque travée (pour garantir des rayons de courbure de voie verticaux acceptables, et d'une manière générale des structures robustes — voir A2.4.4.2.3(3)),
- un soulèvement non empêché au droit des appareils d'appui (pour éviter une défaillance prématurée de ceux-ci),
- les flèches verticales en extrémités du tablier, au delà des appareils d'appui (pour éviter de déstabiliser la voie, limiter les forces de soulèvement exercées sur les systèmes de fixation du rail et limiter les contraintes supplémentaires induites dans le rail — voir A2.4.4.2.3(1) et l'EN 1991-2, 6.5.4.5.2),
- le gauchissement du tablier mesuré le long de l'axe de chaque voie, aux approches du pont et sur le pont même (pour minimiser le risque de déraillement — voir A2.4.4.2.2),

NOTE A2.4.4.2.2 détaille des critères qui satisfont à la fois des exigences concernant la sécurité des circulations et des exigences concernant le confort des passagers.

la rotation en extrémités de chaque tablier par rapport à un axe transversal, ou la rotation relative totale entre les extrémités contiguës de deux tabliers successifs (afin de limiter les contraintes additionnelles dans les rails — voir l'EN 1991-2, 6.5.4 —, limiter les forces de soulèvement sur les systèmes de fixation des rails, et les discontinuités angulaires au droit des joints de dilatation et des lames d'aiguillage — voir A2.4.4.2.3(2)),

le déplacement longitudinal de l'extrémité de la partie supérieure du tablier, résultant du déplacement longitudinal et de la rotation de l'extrémité du tablier (pour limiter les contraintes additionnelles dans les rails, et minimiser les effets de déconsolidation dans le ballast et dans la plate-forme adjacente de la voie — voir l'EN 1991-2, 6.5.4.5.2),

la flèche horizontale transversale (pour garantir un rayon de courbure de la voie horizontal acceptable — voir A2.4.4.2.4, tableau A2.8),

la rotation horizontale du tablier par rapport à un axe vertical, en extrémités du tablier (pour garantir une géométrie horizontale acceptable de la voie, ainsi que le confort des passagers — voir A2.4.4.2.4, tableau A2.8),

les limites de la fréquence propre principale de vibration latérale en travée (pour éviter l'apparition d'une mise en résonance entre le mouvement latéral des véhicules sur leur suspension et le pont — voir A2.4.4.2.4(3)).

NOTE D'autres critères de rigidité figurent implicitement dans les limitations de la fréquence propre des ponts qui sont données dans l'EN 1991-2, 6.4.4 et lorsqu'on détermine les coefficients dynamiques pour les Trains Réels selon l'EN 1991-2, 6.4.6.4 et l'EN 1991-2, Annexe C.

(3) Il y a lieu de procéder à des vérifications portant sur les déformations des ponts vis-à-vis du confort des passagers, c'est-à-dire sur la flèche verticale du tablier pour limiter l'accélération des caisses des voitures selon A2.4.4.3.

(4) Les limites données en A2.4.4.2 et A2.4.4.3 tiennent compte des effets positifs résultant des opérations de maintenance de la voie (par exemple celles qui compensent les effets du tassement des fondations, du retrait, etc.).

A2.4.4.2 Critères pour la sécurité du trafic

A2.4.4.2.1 Accélération verticale du tablier

(1)P Pour assurer la sécurité du trafic, lorsqu'une analyse dynamique est nécessaire, la vérification du maximum de l'accélération de pointe du tablier due aux actions du trafic ferroviaire doit être considérée comme une exigence pour la sécurité du trafic, à satisfaire à l'état-limite de service pour prévenir l'instabilité de la voie.

(2) Les exigences pour déterminer si une analyse dynamique est nécessaire sont données dans l'EN 1991-2, 6.4.4.

(3)P Lorsqu'une analyse dynamique est nécessaire, elle doit être menée conformément à l'EN 1991-2, 6.4.6.

NOTE En général seules les actions caractéristiques dues au trafic ferroviaire selon l'EN 1991-2, 6.4.6.1 sont à considérer.

(4)P Les valeurs maximales pour les valeurs de crête de l'accélération du tablier, calculées le long de chaque voie, ne doivent pas excéder les valeurs de calcul suivantes :

- i) γ_{bt} pour une voie ballastée ;
- ii) γ_{df} pour les voies posées directement, où les voies et les éléments structuraux sont calculés pour les circulations à grande vitesse

pour tous les éléments supportant les voies, avec des fréquences (y compris en considérant les modes associés) allant jusqu'à la plus élevée des deux valeurs suivantes :

- i) 30 Hz ;
- ii) 1,5 fois la fréquence du mode fondamental de vibration de l'élément considéré ;
- iii) la fréquence du troisième mode de vibration de l'élément.

NOTE Les valeurs et les limites de fréquence associées peuvent être définies dans l'Annexe nationale. Les valeurs recommandées sont :

$$\gamma_{bt} = 3,5 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma_{df} = 5 \text{ m/s}^2$$

A2.4.4.2.2 Gauche du tablier

(1)P Le gauche du tablier doit être calculé en prenant en compte les valeurs caractéristiques du Modèle de Charge 71 et des SW/0 ou SW2 lorsqu'il y a lieu, multipliées par Φ et par α , et du Modèle de Charge HSLM y compris les effets centrifuges, le tout en conformité avec l'EN 1991-2, 6. Le gauche doit être vérifié à l'approche du pont, à la traversée du pont et en sortant du pont (voir A2.4.4.1(2)P).

(2) Il convient que le gauche maximal t [mm/3m] pour un écartement de la voie s [m] de 1,435 m, mesuré sur une longueur de 3 m (Figure A2.1), n'excède pas les valeurs données dans le tableau A2.7.

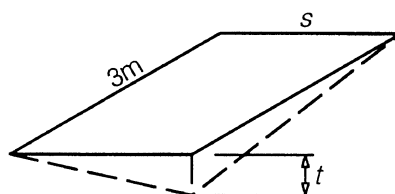


Figure A2.1 — Définition du gauche du tablier

Tableau A2.7 — Valeurs-limites du gauche du tablier

Domaine de vitesse V (km/h)	Gauche maximal t (mm/3m)
$V \leq 120$	$t \leq t_1$
$120 < V \leq 200$	$t \leq t_2$
$V > 200$	$t \leq t_3$

NOTE Les valeurs de t peuvent être définies dans l'Annexe nationale.

Les valeurs recommandées sont :

$$t_1 = 4,5$$

$$t_2 = 3,0$$

$$t_3 = 1,5$$

Les valeurs pour une voie d'écartement différent peuvent être définies dans l'Annexe nationale.

(3)P Le gauche total de la voie, calculé en additionnant le gauche qui peut exister en l'absence de toute charge de trafic (par exemple le long d'une courbe de transition) et le gauche de la voie induit par la déformation totale du tablier résultant de l'application des actions dues au trafic ferroviaire, ne doit pas dépasser t_T .

NOTE La valeur de t_T peut être définie dans l'Annexe nationale. La valeur recommandée est 7,5 mm/3m.

A2.4.4.2.3 Déformation verticale du tablier

(1) Pour toutes les configurations de structures, chargées avec le chargement vertical caractéristique classifié selon l'EN 1991-2, 6.3.2 (et, lorsque nécessaire, les SW/0 classifiés et SW/2 selon l'EN 1991-2, 6.3.3), il convient de limiter la flèche verticale totale maximale sous trafic ferroviaire, mesurée le long de chacune des voies, à $L/600$.

NOTE Des exigences supplémentaires pour la limitation de la déformation, pour des ponts avec ou sans ballast, peuvent être spécifiées dans l'Annexe nationale ou pour le projet individuel.

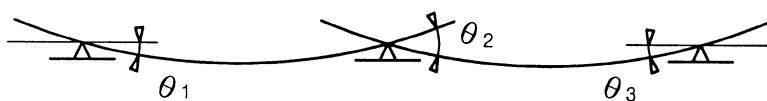


Figure A2.2 — Définition des rotations angulaires aux extrémités des tabliers

(2) Des limitations des rotations aux extrémités des tabliers de ponts ballastés sont implicites dans l'EN 1991-2, 6.5.4.

NOTE Pour les structures sans ballast, les conditions à satisfaire peuvent être spécifiées dans l'Annexe nationale.

(3) Il convient de spécifier des limites pour les rotations angulaires des extrémités de tabliers au voisinage des joints de dilatation, des aiguillages et des croisements, etc.

NOTE Ces limites supplémentaires des rotations angulaires peuvent être définies dans l'Annexe nationale ou pour le projet individuel.

(4) Les valeurs à ne pas dépasser pour les déplacements verticaux des extrémités des tabliers au delà des appareils d'appui sont données dans l'EN 1991-2, 6.5.4.5.2.

A2.4.4.2.4 Déformation transversale et vibration du tablier

(1)P La déformation transversale et la vibration du tablier doivent être vérifiées pour les combinaisons caractéristiques associant le Modèle de Charge 71 et SW/0 lorsqu'il y a lieu, multipliés par le coefficient dynamique Φ et par α (ou le cas échéant le Train Réel avec le coefficient dynamique correspondant), les forces du vent, les forces de lacet, les forces centrifuges selon l'EN 1991-2, 6 et l'effet d'un gradient de température dans le sens transversal au pont.

(2) Il convient de limiter la flèche transversale δ_h en partie supérieure du tablier afin d'assurer :

- un angle de rotation horizontale de l'extrémité d'un tablier par rapport à un axe vertical inférieur aux valeurs données au tableau A2.8,
- ou bien que la variation de rayon de la voie le long d'un tablier soit inférieure aux valeurs données au tableau A2.8
- ou encore qu'à l'extrémité d'un tablier la déformation transversale différentielle entre le tablier et la partie adjacente de la voie ou entre des tabliers adjacents soit inférieure à la valeur spécifiée.

NOTE La déformation transversale différentielle peut être spécifiée dans l'Annexe nationale ou pour le projet individuel.

**Tableau A2.8 — Rotation horizontale maximale
et variation maximale du rayon de courbure**

Domaine de vitesse V (km/h)	Rotation horizontale maximale (en radian)	Variation maximale de rayon de courbure (en mètre)	
		une seule travée	pont à travées multiples
$V \leq 120$	α_1	r_1	r_4
$120 < V \leq 200$	α_2	r_2	r_5
$V > 200$	α_3	r_3	r_6

NOTE 1 La variation du rayon de courbure peut être calculé par la formule :

$$r = \frac{L^2}{8\delta_h} \quad \dots (A2.7)$$

NOTE 2 La déformation latérale comprend la déformation du tablier du pont et celle qui provient des appuis (piles, pieux et fondations).

NOTE 3 Les valeurs des α_i et des r_i peuvent être définies dans l'Annexe nationale. Les valeurs recommandées sont les suivantes :

$\alpha_1 = 0,0035$	$\alpha_2 = 0,0020$	$\alpha_3 = 0,0015$
$r_1 = 1\,700$	$r_2 = 6\,000$	$r_3 = 14\,000$
$r_4 = 3\,500$	$r_5 = 9\,500$	$r_6 = 17\,500$

(3) Il convient que la première fréquence propre de vibration latérale d'une travée soit supérieure à f_{h0} .

NOTE La valeur de f_{h0} peut être définie dans l'Annexe nationale. La valeur recommandée est :

$$f_{h0} = 1,2 \text{ Hz}$$

A2.4.4.2.5 Déplacement longitudinal du tablier

(1) Les valeurs à ne pas dépasser pour les déplacements longitudinaux aux extrémités des tabliers sont données dans l'EN 1991-2, 6.5.4.5.2.

NOTE Voir aussi A2.4.4.2.3.

A2.4.4.3 Valeurs limites de la flèche verticale maximale pour le confort des passagers

A2.4.4.3.1 Critères de confort

(1) Le confort des passagers dépend de l'accélération verticale b_v à l'intérieur des voitures lors de l'approche, du passage sur le pont, et au sortir du pont.

(2) Il y a lieu de spécifier les niveaux de confort et les valeurs limites correspondantes pour l'accélération verticale.

NOTE Ces niveaux de confort et les valeurs limites correspondantes peuvent être définies pour le projet individuel. Des niveaux recommandés de confort figurent au tableau A2.9.

Tableau A2.9 — Niveaux recommandés de confort

Niveau de confort	Accélération verticale b_v (m/s ²)
Très bon	1,0
Bon	1,3
Acceptable	2,0

A2.4.4.3.2 Critères de flèche pour vérifier le confort des passagers

(1) Pour limiter l'accélération verticale du véhicule aux valeurs données en A2.4.4.3.1(2), des valeurs sont données dans la présente clause pour la flèche verticale maximale permise δ des ponts ferroviaires le long de l'axe de la voie, qui sont fonction de :

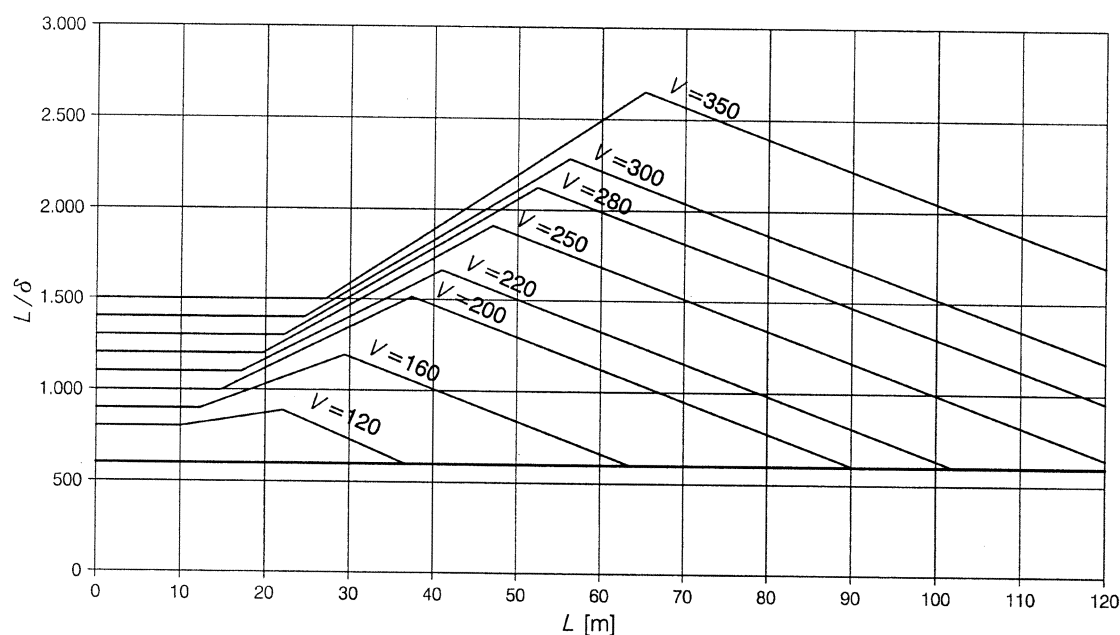
- la longueur de la travée L [m]
- la vitesse du train V [km/h]
- le nombre de travées
- et le type de pont (travée indépendante, poutre continue).

L'accélération verticale b_v peut aussi être déterminée par une analyse dynamique d'interaction véhicule/pont (voir A2.4.4.3.3).

(2) Il y a lieu de déterminer les flèches verticales δ avec le Modèle de Charge 71 multiplié par le coefficient Φ et en prenant la valeur $\alpha = 1$, conformément à l'EN 1991-2, Section 6.

Pour les ponts portant deux voies ou plus, il y lieu de n'en charger qu'une seule.

(3) Pour des structures exceptionnelles, par exemple des poutres continues avec des longueurs de travées très différentes, ou encore de grandes variations d'inertie au sein d'une même travée, il convient de réaliser un calcul dynamique spécifique.



Il n'y a pas lieu d'appliquer les coefficients donnés en A2.4.4.3.2.(5) à la limite $L/\delta = 600$.

Figure A2.3 — Flèche verticale maximale autorisée δ pour des ponts ferroviaires à plus de deux travées sur appuis simples successives, pour une accélération verticale autorisée b_v de 1 m/s^2 dans une voiture et une vitesse V [km/h]

(4) Les valeurs limites de L/δ données à la figure A2.3 correspondent à $b_v = 1,0 \text{ m/s}^2$, qui peut être considérée comme une accélération garante d'un «très bon» niveau de confort.

Pour d'autres niveaux de confort et les accélérations verticales maximales autorisées correspondantes b'_v , les valeurs de L/δ données par la figure A2.3 peuvent être divisées par $b'_v \text{ m/s}^2$.

(5) Les valeurs de L/δ données à la figure A2.3 valent pour trois travées indépendantes successives ou plus.

Pour les ponts à une seule travée ou à deux travées successives indépendantes ou continues, il convient de multiplier les valeurs de L/δ de la figure A2.3 par 0,7.

Pour les ponts continus à trois travées ou plus, il convient de multiplier les valeurs L/δ de la figure A2.3 par 0,9.

(6) Les valeurs de L/δ données à la figure A2.3 valent pour des longueurs de travée jusqu'à 120 m. Pour des longueurs supérieures une analyse spéciale est nécessaire.

NOTE Les exigences de confort des passagers pour les tabliers auxiliaires peuvent être définies dans l'Annexe nationale ou pour le projet individuel.

A2.4.4.3.3 *Exigences pour une analyse dynamique de l'interaction véhicule/pont en vue de la vérification du confort des passagers*

(1) Lorsqu'une analyse dynamique d'interaction véhicule/pont s'avère nécessaire, il convient qu'elle tienne compte des facteurs suivants :

- i) une gamme de vitesses de véhicules allant jusqu'à la vitesse maximale spécifiée,
- ii) un chargement caractéristique des Trains Réels spécifié pour le projet individuel selon l'EN 1991-2, 6.4.6.1.1,
- iii) une interaction dynamique des masses entre les véhicules du Train Réel et la structure,
- iv) des caractéristiques d'amortissement et de raideur de la suspension du véhicule,
- v) un nombre suffisant de véhicules pour produire les effets maximaux de charge dans la plus longue travée,
- vi) un nombre suffisant de travées dans une structure à travées multiples pour que se développent des effets significatifs de résonance dans la suspension du véhicule.

NOTE Les conditions dans lesquelles la rugosité de la voie peut être prise en compte dans l'analyse dynamique d'interaction véhicule/pont peuvent être définies pour le projet individuel.